

CAPÍTULO 11

11. Líneas abiertas, escalerilla y bifilares

Pierden entre cinco y veinte veces menos que un coaxial, aguantan ROE altísimas sin inmutarse y cuestan la décima parte. A cambio exigen respeto: no se pueden tocar, ni enterrar, ni doblar como a uno le apetezca.

Cuando una antena se alimenta lejos de su punto de resonancia, en el cable aparece una ROE alta y con ella una pérdida adicional que en coaxial puede comerse la mitad de la potencia. En línea abierta esa misma ROE apenas cuesta nada. Ésa es toda la historia, y explica por qué el doblete alimentado con escalerilla sigue siendo, en muchas parcelas, la mejor antena multibanda que se puede montar.

11.1 Por qué pierden tan poco

Una línea pierde por dos caminos: el cobre y el dieléctrico. La línea abierta gana en los dos.

Motivo	Coaxial	Línea abierta
Dieléctrico	Polietileno en todo el volumen del campo	Aire, salvo los separadores. Pérdida casi nula.
Impedancia	50 Ω: para una potencia dada, corriente alta	450 Ω: la corriente es tres veces menor, y la pérdida en cobre va con el cuadrado.
Superficie del conductor	El vivo es fino; la malla, mediocre conductora	Dos hilos macizos, ambos buenos.
Efecto de proximidad	Fuerte, la corriente se concentra	Moderado, si la separación es suficiente.

El resultado son cifras que parecen un error de imprenta.

Línea	3,5 MHz	7 MHz	14 MHz	28 MHz	50 MHz
Escalerilla 450 Ω, hilo de 1,2 mm	0,10	0,15	0,23	0,35	0,50
Escalerilla 300 Ω, plana de TV	0,23	0,35	0,55	0,90	1,35
Línea abierta casera 600 Ω	0,06	0,09	0,14	0,22	0,32
RG-213, para comparar	1,10	1,60	2,30	3,40	4,70
RG-58, para comparar	2,10	3,10	4,50	6,60	9,20

Los valores son decibelios por cada cien metros, con la línea adaptada. Con treinta metros de escalerilla en 14 megahercios pierdes siete centésimas de decibelio; con treinta metros de RG-58, casi decibelio y medio. Y eso antes de contar la ROE.

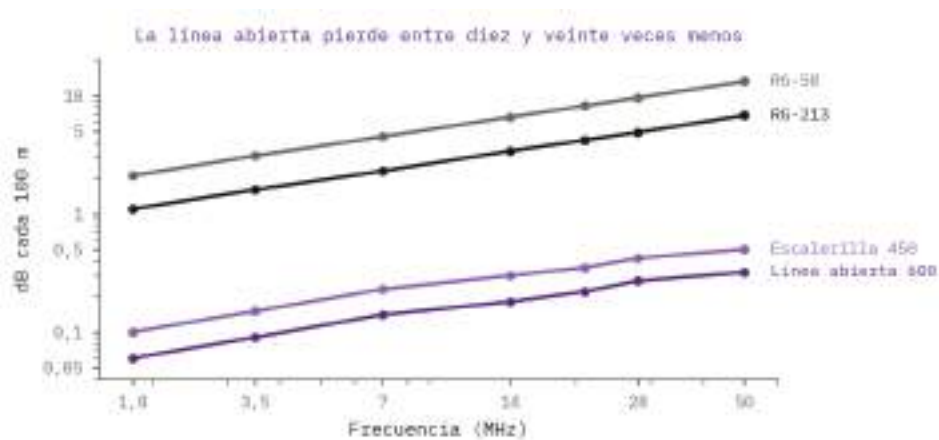


Figura 11.1 · Atenuación comparada. En 14 megahercios la escalerilla pierde quince veces menos que el RG-58.

11.2 El efecto de la ROE, que es donde se decide

La pérdida adicional por desadaptación depende de la pérdida que ya tenía la línea adaptada. Si esa pérdida es minúscula, la adicional también lo es, por muy alta que sea la ROE. Con un doblete de veinte metros por banda alimentado en el centro, la ROE en la línea puede andar entre 4 y 25 según la banda.

Situación, 30 m de línea, 7 MHz	ROE en la línea	Pérdida total	Potencia que llega
Escalerilla 450 Ω	10:1	0,20 dB	95,5 %
Escalerilla 450 Ω	25:1	0,42 dB	90,8 %
RG-213	10:1	2,20 dB	60,3 %
RG-213	25:1	4,30 dB	37,2 %
RG-58	25:1	7,90 dB	16,2 %

Con RG-58 y una ROE de 25, de cien vatios llegan dieciséis a la antena. Con escalerilla llegan noventa y uno. La antena es la misma; lo que cambia es lo que le llega.

11.3 Calcular la impedancia por geometría

Una línea de dos hilos paralelos en aire tiene una impedancia que depende sólo de la separación entre centros y del diámetro del hilo:

$$Z_0 = 276 \cdot \log(2s / d)$$
 s, separación entre centros; d, diámetro del hilo, en las mismas unidades

La fórmula supone aire y separadores escasos. Con separadores continuos de plástico, la impedancia real baja entre un cinco y un quince por ciento.

Hilo	Separación	Z ₀ en aire
1,0 mm (AWG 18)	15 mm	408 Ω
1,0 mm	25 mm	470 Ω
1,0 mm	50 mm	553 Ω
1,6 mm (AWG 14)	25 mm	413 Ω
1,6 mm	50 mm	496 Ω
1,6 mm	75 mm	545 Ω
2,0 mm (AWG 12)	50 mm	469 Ω
2,0 mm	100 mm	552 Ω
2,5 mm	150 mm	576 Ω

Hay un límite superior práctico. La separación no debe pasar de una centésima parte de la longitud de onda si no quieres que la línea empiece a radiar por sí misma. En 28 megahercios eso son diez centímetros; en 50 megahercios, seis. Una línea de 600 ohmios con separadores de quince centímetros va bien en 80 metros y es un radiador en 10.

11.4 Tipos comerciales y caseros

Tipo	Z ₀	Ventaja	Inconveniente
Escalerilla de ventanas, 450 Ω	380-450 Ω	Barata, fácil de encontrar, resistente	Se degrada al sol; las ventanas se llenan de suciedad.

Tipo	Zo	Ventaja	Inconveniente
Bifilar plana de 300 Ω	300 Ω	Muy ligera	Muy sensible a la lluvia y al hielo; pierde bastante más.
Bifilar tubular de 300 Ω	300 Ω	Mejor comportamiento con humedad	Difícil de encontrar hoy.
Línea abierta casera	450-600 Ω	La de menor pérdida; se repara y se hace a medida	Hay que fabricarla y sujetarla bien.
Bifilar de 75 Ω apantallada	75-100 Ω	Se puede pegar a metal	Pierde como un coaxial; no aporta.

11.4.1 Fabricar una línea abierta que dure

Es la solución más barata y la mejor. Con hilo de cobre de 1,6 milímetros, separadores de polietileno o de tubo de riego y un poco de paciencia, sale una línea de 450 ohmios por muy poco dinero.

Elemento	Recomendación
Hilo	Cobre duro o copperweld de 1,6 a 2,0 mm. El cobre blando se estira.
Separador	Tubo de polietileno de riego de 4 mm, o varilla de polipropileno.
Distancia entre separadores	De 30 a 45 cm. Más lejos, la línea baila con el viento.
Sujeción del separador	Dos agujeros y una brida pequeña, o un lazo de hilo fino.
Material que evitar	PVC, nailon y madera: absorben y se calientan con la RF.
Torsión	Una vuelta completa cada 3 o 4 m equilibra el acoplo al entorno.

11.5 Manejo: lo que no se puede hacer

El campo de una línea abierta está fuera de ella. Todo lo que se acerque forma parte del circuito. De ahí las reglas.

Regla	Distancia o condición	Motivo
Separación de metales	Mínimo 5 veces la separación de los hilos, mejor 10	Un metal cercano desequilibra la línea y la hace radiar.
Separación de paredes	10 cm de obra seca; 20 cm de muro húmedo	La humedad de la pared es un dieléctrico con pérdidas.
Enterrar	Nunca	Es exactamente lo contrario de lo que la línea necesita.
Curvas	Amplias, radio mínimo 20 veces la separación	Una curva cerrada rompe el equilibrio.
Bajada	Lo más vertical y recta posible	Minimiza el acoplo al edificio.
Cruces con otros cables	A 90 grados y a distancia	Evita el acoplo mutuo.
Sujeción	Aisladores, nunca bridas contra un tubo metálico	Un punto de contacto arruina el equilibrio de todo el tramo.

11.5.1 Lluvia, hielo y suciedad

Con la línea mojada la impedancia baja y las pérdidas suben, y el acoplador que estaba ajustado deja de estarlo. En una escalerilla limpia el efecto es pequeño y se recupera al secar; en una escalerilla con años de suciedad en las ventanas, el efecto es notable y permanente. El hielo es peor: puede duplicar la capacidad por metro.

Se convive con ello. Se acepta que en un día de lluvia hay que retocar el acoplador y se limpia la línea cada dos o tres años con agua y jabón. Si el punto es la fiabilidad absoluta en cualquier tiempo, la línea abierta no es la elección.

11.6 La entrada en la casa

Éste es el problema práctico que hace que mucha gente renuncie. Una línea abierta no se puede meter por un pasamuros metálico ni pegada a la pared. Hay tres soluciones honradas.

Solución	Cómo	Valoración
Acoplador simétrico fuera	Caja estanca en la pared exterior con acoplador de salida equilibrada; del acoplador a la radio, coaxial corto.	La mejor. La línea nunca entra. Coste: un acoplador remoto simétrico.
Dos aisladores pasamuros	Dos pasamuros de cerámica o teflón separados lo mismo que los hilos, en un tramo de pared sin armadura cerca.	Funciona. Ojo con el hormigón armado y con la humedad.
Ventana de radio	Panel de metacrilato sustituyendo un cristal, con los pasamuros montados.	Reversible y barata. La clásica de toda la vida.

SEGURIDAD

En una línea abierta con ROE alta y potencia legal, la tensión entre hilos puede pasar de dos mil voltios de pico en los vientres. No se toca la línea con el equipo encendido, jamás, y la bajada tiene que quedar fuera del alcance de personas y animales. Ésta es la razón principal para poner el acoplador fuera y meter coaxial.

11.7 El acoplador simétrico

Una línea abierta necesita un acoplador con salida equilibrada de verdad. El montaje habitual –acoplador asimétrico corriente más balun 4:1 a la salida– es el peor de los mundos: el balun trabaja con impedancias que no conoce, se calienta y pierde. Se detalla en el capítulo 18, pero las opciones son éstas.

Montaje	Comportamiento
Enlace inductivo con enlace variable	El clásico y el mejor. Equilibrio real, sin ferrita, y aguanta cualquier impedancia.
Red L doble simétrica	Muy buena; dos secciones idénticas, una por hilo.
Balun 1:1 de corriente y luego red asimétrica	Aceptable si el balun es de corriente y está sobredimensionado.
Balun 4:1 de tensión a la salida del acoplador	El montaje corriente y el que más ferritas ha quemado. Se desaconseja.

11.8 Cuándo compensa y cuándo no

Escenario	Veredicto
Doblete multibanda, 30 m de bajada, parcela con espacio	Compensa mucho. Es el caso ideal.
Antena monobanda resonante	No compensa. El coaxial es más cómodo y la diferencia es de décimas.
Balcón o terraza pequeña	No compensa. No hay separación posible del edificio.
Bajada de 6 m	Casi nunca compensa: la ventaja se cobra en longitud.
Bajada de 40 m o más con ROE alta	Compensa muchísimo. Aquí la diferencia son varios puntos S.
Instalación que debe ser invisible	No compensa: la línea abierta se ve, y separada de la pared se ve más.
Estación con torre rotativa	No compensa: la línea no admite giro.

IDEA CLAVE

La línea abierta no es una antigualla: es la única forma de alimentar una antena muy desadaptada sin regalar la mitad de la potencia. Su precio no es económico, es de instalación: separación de todo, bajada recta, acoplador simétrico y una entrada en casa pensada. Si tu parcela permite pagar ese precio, ninguna otra cosa se le acerca en multibanda.

12. Conectores

Es la pieza más barata del sistema y la que más averías causa. Un conector mal montado convierte una instalación buena en una instalación con ruido, con pérdidas y con intermodulación imposible de localizar.

Un conector tiene tres trabajos: mantener la impedancia de la línea, dar continuidad al blindaje sin un solo hueco y aguantar años a la intemperie sin dejar entrar agua. La mayoría de los que se venden hacen bien el tercero sólo si se montan con criterio, y el primero sólo hasta cierta frecuencia.

12.1 El catálogo, y para qué sirve cada uno

Conector	Impedancia	Frecuencia útil	Potencia	Uso natural
PL-259 / S0-239 (UHF)	No constante, 35-40 Ω	Hasta 300 MHz con dignidad	Alta en HF	HF y VHF. El estándar de facto.
N	50 Ω constante	Hasta 11 GHz	Alta	VHF, UHF y todo lo exterior.
BNC	50 Ω constante	Hasta 4 GHz	Baja, 100 W en HF	Instrumentación y equipos portátiles.
TNC	50 Ω constante	Hasta 11 GHz	Baja-media	BNC roscado, para vibración.
SMA	50 Ω constante	Hasta 18 GHz	Muy baja, 25 W	Portátiles, SDR y microondas.
7-16 DIN	50 Ω constante	Hasta 7,5 GHz	Muy alta	Emisoras profesionales, baja PIM.

12. CONECTORES

Conector	Impedancia	Frecuencia útil	Potencia	Uso natural
4.3-10	50 Ω constante	Hasta 6 GHz	Muy alta	Sustituto moderno del 7-16.
MCX / MMCX / U.FL	50 Ω	Hasta 6 GHz	Mínima	Interior de equipos y placas SDR.

CONECTORES COAXIALES DE RF

USADOS EN EQUIPOS DE RADIOFONICIONADO Y COMUNICACIONES

50 Ω DC - 18 GHz	50 Ω DC - 18 GHz	50 Ω DC - 18 GHz	50 Ω DC - 18 GHz	50 Ω DC - 11 GHz	50 Ω DC - 11 GHz
UNF PL-259 MACHO	UNF 50-239 HEMBRA	TNC MACHO	TNC HEMBRA	BNC MACHO	BNC HEMBRA
50 Ω DC - 300 MHz	50 Ω DC - 300 MHz	50 Ω DC - 11 GHz	50 Ω DC - 11 GHz	50 Ω DC - 4 GHz	50 Ω DC - 4 GHz
PL-259 A 50-239 ADAPTADOR 50"	N A SMA ADAPTADOR	TNC A BNC ADAPTADOR	SMA A BNC ADAPTADOR	N A UNF ADAPTADOR	BNC A PL-259 ADAPTADOR
50 Ω DC - 300 MHz	50 Ω DC - 11 GHz	50 Ω DC - 4 GHz	50 Ω DC - 4 GHz	50 Ω DC - 500 MHz	50 Ω DC - 500 MHz
7/16 DIN MACHO	7/16 DIN HEMBRA	MINI UNF MACHO	MINI UNF HEMBRA	F MACHO	F HEMBRA
50 Ω DC - 75 GHz	50 Ω DC - 75 GHz	50 Ω DC - 300 MHz	50 Ω DC - 300 MHz	75 Ω DC - 3 GHz	75 Ω DC - 3 GHz

IMPEDANCIA TÍPICA
50 Ω → LA MAYORÍA
75 Ω → TV / SAT

USOS COMUNES
- SMA / RP-SMA:
VHF / UHF / MICROONDAS
EQUIPOS PROFESIONALES
- N:
EQUIPOS PROFESIONALES
ANTENAS
- UNF PL-259 / 50-239:
EQUIPOS HF / VHF
ANTENAS
- BNC / TNC:
VHF / UHF
INSTRUMENTACIÓN
- 7/16 DIN:
POTENCIA ALTA
SISTEMAS PROFESIONALES
- F:
TV / SATELITE
CABLE COAXIAL

NOTAS GENERALES
- SEMPRE VERIFICAR LA
IMPEDANCIA (50 Ω o 75 Ω)
- USAR CONECTORES Y CABLE
ACORDADOS PARA CADA
SISTEMA Y POT. ALTA
- AJUSTAR NUNCA SIN RESERVA
PARA NO DAÑAR LAS RESERVAS
O AISLANTES
- MANTENER UNIFORMES LOS
CONTACTOS PARA ADECUAR
BUEN CONTACTO ELÉCTRICO

CONSEJO
USAR SIEMPRE CONECTORES DE
BUENA CALIDAD PARA ADECUAR
BUELOS FÍSICOS Y CONDICIONES
COMUNALES

VISTA EN CORTE (EJEMPLO SMA MACHO)

CÓMO IDENTIFICAR RP-SMA

SMA NORMAL

75 Ω MACHO
EN EL CENTRO

RP-SMA

75 Ω HEMBRA
EN EL CENTRO
(PIN DESPLAZADO)

Lámina 12.1 · Veinticuatro conectores y adaptadores de RF con su impedancia y su frecuencia máxima, la vista en corte de un SMA montado y la forma de distinguir un RP-SMA. Gira el libro para verla.

12.1.1 El PL-259, en su sitio

Se le critica mucho y no todo es justo. Es cierto que su impedancia no es de 50 ohmios: la geometría del cuerpo da unos 35, y esa discontinuidad dura apenas dos centímetros. En 14 megahercios, dos centímetros son cinco milésimas de longitud de onda: la discontinuidad es invisible. En 1.296 megahercios son casi una décima de longitud de onda, y ahí sí destroza la medida.

Banda	ROE que introduce un PL-259 típico	Pérdida por par
1,8-30 MHz	1,01 o menos. No se mide.	Menos de 0,01 dB
50 MHz	1,02	0,02 dB
144 MHz	1,05	0,05 dB
432 MHz	1,15	0,15 dB
1.296 MHz	1,45 o peor, muy variable	0,5 dB o más

Conclusión honrada: en HF el PL-259 es perfectamente válido y su mala fama es exagerada. En 432 megahercios empieza a molestar. En 1.296 no se usa.

12.2 Montaje soldado

El PL-259 clásico se suelda. La operación tiene mala prensa porque casi todo el mundo la hace mal: o quema el dieléctrico, o no suelda la malla, o las dos cosas.

Paso	Cota o gesto
1. Reductor	Enrosca primero el reductor UG-175 (RG-58) o UG-176 (RG-8X). Sin él, no aprieta.
2. Pelado exterior	19 mm de cubierta, sin tocar la malla.
3. Malla	Peinar hacia atrás y recortar dejando 8 mm sobre el reductor.
4. Dieléctrico	Pelar 13 mm dejando el vivo desnudo, sin muescas en el cobre.
5. Roscado	Enroscar el cuerpo hasta ver la malla por los cuatro agujeros.
6. Soldadura de la malla	Soldador de 100 W o más, punta gruesa. Cuatro puntos, dos segundos cada uno.

Paso	Cota o gesto
7. Soldadura del vivo	Rellenar la punta, sin exceso, y limar el sobrante al ras.
8. Comprobación	Continuidad vivo-punta, continuidad malla-cuerpo, aislamiento entre ambos: infinito.

El error clásico es el paso 6 hecho con un soldador de treinta vatios: no funde, así que se insiste, y el dieléctrico se derrite por dentro. El resultado es un conector que parece bien, mide bien con el óhmetro y tiene el vivo descentrado. Con potencia, arquea. Si tu soldador no funde la malla en dos segundos, no es el soldador adecuado.

12.2.1 Montaje por crimpado

Bien hecho, es mejor que el soldado: más repetible, sin calor y con contacto en todo el perímetro de la malla. Mal hecho, es peor, y en el crimpado no hay término medio.

Requisito	Detalle
Conector del cable exacto	Un conector de LMR-400 no vale para RG-213 aunque el diámetro parezca igual.
Tenaza con matriz hexagonal	Nunca alicates. La matriz debe ser la que indica el fabricante.
Pelacables escalonado	Las tres cotas de una vez y siempre iguales.
Pin del vivo	Crimpado con la matriz pequeña, o soldado si el conector lo permite.
Orden	Meter la virola ANTES de montar el conector. Se olvida siempre.
Comprobación	Tirar del cable con fuerza. Si se mueve, está mal.

Cable	Cubierta	Malla	Dieléctrico
RG-58	15 mm	6 mm	5 mm
RG-8X	17 mm	7 mm	6 mm
RG-213	22 mm	9 mm	7 mm
LMR-400	19 mm	8 mm	6 mm
H-155	17 mm	7 mm	6 mm

Las cotas son orientativas y cada fabricante da las suyas en la hoja del conector. Merece la pena leerla una vez y apuntarla en el taller.

12.3 Pares de apriete

Apretar a mano no basta, y apretar con la llave hasta el tope estropea el conector. Los valores razonables son éstos.

Conector	Par	Herramienta
SMA	0,45 a 0,56 N·m	Llave dinamométrica de 8 mm. Aquí importa de verdad.
BNC	Bayoneta, sin par	Girar hasta el tope y comprobar el enclavamiento.
TNC	0,9 a 1,1 N·m	Llave de 12 mm.
N	1,4 N·m	Llave de 20 mm. A mano bien apretado se aproxima.
PL-259	A mano, firme	La rosca es gruesa y perdona.
7-16 DIN	25 a 30 N·m	Llave grande. Aquí hace falta fuerza de verdad.

12.4 Intermodulación pasiva

Dos metales distintos en contacto, o un contacto con óxido, forman un diodo. Un diodo mezcla. Si por ahí pasan dos señales fuertes, aparecen productos de mezcla que no estaban. Eso es intermodulación pasiva, y es la causa de muchas señales fantasma que nadie sabe de dónde salen.

Causa	Remedio
Óxido en el contacto	Limpiar, montar con grasa dieléctrica y sellar.
Contacto flojo	Apretar al par correcto.
Metales distintos: latón y aluminio	Usar conectores del mismo material, o arandela intermedia adecuada.
Soldadura fría	Rehacer. Una soldadura mate es una soldadura mala.